

Vergleich der Ökobilanzen von stall- und weidebasierter Milchproduktion

Michael Sutter¹, Thomas Nemecek² und Peter Thomet¹

¹Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, 3052 Zollikofen, Schweiz

²Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zürich, Schweiz

Auskünfte: Michael Sutter, E-Mail: michael.sutter@bfh.ch, Tel. +41 31 910 22 63



Hauptquellen der Umweltwirkung der Stallherde sind der Mais- und Sojaanbau.



Die Milchproduktion im Vollweidesystem weist ein grosses ökologisches Potenzial auf.

Einleitung

Neben den wirtschaftlichen Herausforderungen, welche die Schweizer Milchwirtschaftsbetriebe gegenwärtig zu meistern haben, müssen sie sich vermehrt mit Klimaschutz, Umweltschutz und dem Verbrauch der knappen Ressourcen befassen. In den vergangenen Jahrzehnten war die stete Steigerung der Milchleistung pro Kuh und Laktation handlungsbestimmend. Heute wächst die Erkenntnis, dass diese Entwicklung in einem Grasland wie der Schweiz im Hinblick auf eine möglichst effiziente Nutzung von Ressourcen hinterfragt werden muss. Die einseitige Fokussierung auf die Milchleistung muss durch eine Betrachtungsweise der Nachhaltigkeit abgelöst werden. In diesem Beitrag liegt der Fokus auf der ökologischen Bewertung. Am Beispiel des dreijährigen Systemvergleichs Milchproduktion Hohenrain wurden die ökologischen Stärken und Schwächen von zwei unterschiedlichen Milchproduktionssystemen mittels

Ökobilanz untersucht. Die beiden Systeme sind *saisonale Vollweide* mit Blockabkalbung Ende Winter einerseits und *Stallfütterung* basierend auf Mais- und Grassilage mit einer relativ hohen Kraftfuttergabe zum Erzielen von hohen Jahres-Milchleistungen pro Kuh andererseits.

Material und Methode

Versuchsaufbau

Der Versuch fand auf dem Gutsbetrieb des landwirtschaftlichen Berufsbildungszentrums Natur und Ernährung (BBZN) Hohenrain (LU) statt. Die Stallherde (SH) erhielt eine Teil-Mischration, welche während der Vegetationsperiode mit einem kurzen Weidegang von rund drei Stunden pro Tag ergänzt wurde («Siestaweide»). Die Stallherde hielt sich folglich vorwiegend im Freilaufstall auf. Die Winterfütterung der Weideherde (WH) bestand aus Belüftungsheu und Stroh, die Sommerfütterung ausschliesslich aus Weidegras (Tag- und Nacht-

weide). Die SH bestand aus je zwölf Brown Swiss und Holstein-Kühen und die WH aus je 14 Brown Swiss und Swiss Fleckvieh-Kühen. Die durchschnittliche Milchleistung der SH lag bei 8900 kg jene der WH bei 6074 kg (Tab. 1). Jede Herde hatte 13 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) und 180 000 kg Lieferrecht pro Jahr zur Verfügung. Bei der WH bestand die LN vollumfänglich aus Grünland, bei der SH wurden neben Grünland auch Futterweizen, Silo- und Körnermais angebaut. Der Versuch dauerte von 2008 bis 2010.

Swiss Agricultural Life Cycle Assessment

Die Ökobilanzierung (englisch: *Life Cycle Assessment* oder LCA, deutsch: Lebenszyklusanalyse) betrachtet die Umweltwirkungen eines Produktes während seines ganzen Lebensweges. Somit fließen auch die Umweltwirkungen der Produktionsfaktoren wie Dünger, Maschinen, Gebäude usw. in die Berechnungen ein. Dabei werden die Emissionen und der Ressourcenverbrauch sowohl bei der Förderung und Verarbeitung der Rohstoffe als auch bei der Entsorgung und Wiederverwertung der Abfälle berücksichtigt (Hersener *et al.* 2011).

Für die Berechnung der Ökobilanzen wurde die Software SimaPro Version 7.3 verwendet (PRé consultants, Amsterdam). Das Ökoinventar stammt aus der Datenbank von Swiss Agricultural Life Cycle Assessment (SALCA) und der ecoinvent-Datenbank Version 2.2 des Schweizer Zentrums für Ökoinventare. Ein detaillierter Beschrieb der Ökobilanzmethode SALCA ist im Schlussbericht zur Zentralen Auswertung von Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe zu finden (Hersener *et al.* 2011).

Variante Weideherde mit Silage

Die WH wurde ohne Silage gefüttert (Tab. 1). Im Gegensatz dazu, erhielt die SH vorwiegend einsilierte Futtermittel (Mais- und Grassilage). Damit die Resultate der beiden Verfahren trotz unterschiedlicher Futterkonser-

Zusammenfassung

Klimaschutz, Umweltschutz und der Verbrauch von knappen Ressourcen sind Stichworte mit welchen sich die Schweizer Milchwirtschaftsbetriebe vermehrt beschäftigen müssen.

Im Rahmen des Systemvergleichs Milchproduktion Hohenrain konnte mit der Ökobilanzmethode Swiss Agricultural Life Cycle Assessment (SALCA) eine umfassende Betrachtung der Umweltwirkungen durchgeführt werden. Dazu wurden die ökologischen Stärken und Schwächen der beiden Systeme saisonale Vollweide und Stallfütterung einander gegenübergestellt.

Die Stallherde ist in drei von 13 Wirkungskategorien deutlich besser als die Weideherde-SILO. Im Gegenzug schneidet die Weideherde-SILO in sieben von 13 Wirkungskategorien besser ab. Eine wesentliche Schwäche der Weideherde ist der höhere Methanausstoss pro kg energiekorrigierte Milch (+ 41 %) und der 1,5 mal höhere Flächenbedarf pro kg energiekorrigierte Milch. Die Stallherde hat ihre grössten Schwächen in der Abholzung von Wald, dem Ressourcenbedarf an Phosphor und Kalium und der Ökotoxizität. Wichtigste Verursacher für das schlechte Abschneiden in diesen Kategorien sind der Mais und das Sojaschrot.

Tab. 1 | Charakterisierung der beiden Versuchsherden. (FS = Frischsubstanz)

Stallherde	Weideherde
24 Kühe	28 Kühe
Brown Swiss / Holstein (1:1)	Brown Swiss / Swiss Fleckvieh (1:1)
Milchleistung 8900 kg / Standardlaktation	Milchleistung 6074 kg / Standardlaktation
Teilmischration mit Mais-/Grassilage und Proteinausgleichsfutter (Milchproduktions-Potenzial= 27kg)	Vollweide auf Kurzrasenweide Keine Silage
Kraftfutter nach Bedarf ca. 1100kg FS / Kuh & Laktation	Kraftfutter nur zu Laktationsbeginn ca. 300 kg FS / Kuh & Laktation
«Siestaweide» während Vegetationsperiode (ca. 3 h pro Tag)	Vollweide
Abkalbung ganzjährig mit Häufung von Juni bis September	Abkalbung von Februar bis April

Der detaillierte Versuchsaufbau des Projektes «Systemvergleich Milchproduktion Hohenrain» ist in Hofstetter *et al.* (2011) beschrieben.

vierung besser verglichen werden konnten, wurde eine zweite Ökobilanz für die WH gerechnet, welche die WH mit Silagefütterung abbildet (WH-SILO). Im Unterschied zur ersten Ökobilanz der WH, wurden folgende Punkte angepasst: Reduktion des Stromverbrauchs (Wegfall Stromverbrauch Belüftungsheu), Verringerung Gebäudebedarf (Siloballenlagerung analog der SH im Freien) und Reduktion der Durchfahrten für das Wenden des Futters.

Biodiversität

Die Biodiversität wurde nach der «Methode zur Beurteilung der Wirkung von landwirtschaftlicher Aktivität auf die Biodiversität für Ökobilanzen» (SALCA-Biodiversität) der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (Jeanneret *et al.* 2009) berechnet. Für jede Herde wurde die Biodiversität der betriebseigenen Futterflächen als auch jene der betriebsexternen Flächen (indirekte Nutzung durch Zukauf von Futtermitteln oder Tieren) bewertet.

Für die Berechnung der Biodiversität der beiden untersuchten Milchproduktionssysteme, wurden die Durchschnittszahlen aus der Forschungsinitiative von Coop und Agroscope Reckenholz-Tänikon «Ökologische Bewertung von Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch» verwendet (Alig *et al.* 2012).

Die ökologischen Ausgleichsflächen und die für den Anbau von Soja benötigten Flächen wurden bei der Berechnung der Biodiversität nicht berücksichtigt. Bei

den Ausgleichsflächen handelte es sich bei beiden Herden jeweils um dieselbe Fläche von je 0,91 ha und um dieselbe Kultur (Naturwiese extensiv). Da auch die Nutzung dieser Kultur in beiden Herden gleich war, kann davon ausgegangen werden, dass beide Flächen dieselbe Biodiversität aufwiesen. Die Sojabohnen welche in Form von Sojaschrot im Versuch verfüttert worden sind, stammten nicht aus der Schweiz, sondern vorwiegend aus Übersee. Da die Methode (SALCA-Biodiversität) für die Landwirtschaft in Übersee nicht geeignet ist, wurde Soja in der Berechnung der Biodiversität nicht berücksichtigt.

Resultate

Die beiden Systeme unterscheiden sich deutlich

Mit Ausnahme von drei der 13 Wirkungskategorien gibt es zwischen den beiden Systemen (SH und WH bzw. WH-SILO) deutliche Unterschiede. So verursacht die WH bzw. WH-SILO in drei und die SH in sieben Wirkungskategorien mehr Emissionen als das verglichene System.

Werden nur die beiden Varianten WH und WH-SILO betrachtet, sind die grössten Unterschiede in den Kategorien Ozonbildungspotenzial (+15 %), Ökotoxizitätspotenzial aquatisch (+13 %), Treibhauspotenzial (+11 %) und Ressourcenbedarf P (+9 %) zu finden (Tab. 2). Da die Ergebnisse der Variante WH-SILO aufgrund der angepassten Futterkonservierung besser mit der SH vergleichbar ist, beschränken sich die folgenden Kapitel mit den

Tab. 2 | Resultate der Ökobilanzen für die unterschiedlichen Wirkungskategorien und die beiden Versuchsherden inkl. der Variante WH mit Silagefütterung. (Durchschnitt der drei Versuchsjahre, Umweltwirkungen pro kg verkaufte ECM, in der Klammer die prozentuale Abweichung zur Stallherde).

Wirkungskategorie	Pro kg ECM	Stallherde	Weideherde	Weideherde-SILO
Flächenbedarf	m ² a	0,95	1,41 (+48 %)	1,42 (+49 %)
Treibhauspotenzial	kg CO ₂ eq	1,14	1,39 (+22 %)	1,52 (+33 %)
Ozonbildungspotenzial	person.ppm.h	0,0010	0,0011 (+14 %)	0,0012 (+29 %)
Eutrophierungspotenzial aquatisch N	kg N	0,0047	0,0046 (-3 %)	0,0048 (+1 %)
Humantoxizitätspotenzial	kg 1,4-DB eq	0,20	0,21 (+2 %)	0,20 (0 %)
Energiebedarf	MJ eq	5,10	5,18 (+2 %)	5,00 (-2 %)
Eutrophierungspotenzial terrestrisch	m ²	0,96	0,72 (-25 %)	0,72 (-24 %)
Versauerungspotenzial	m ²	0,24	0,18 (-25 %)	0,18 (-25 %)
Ökotoxizitätspotenzial aquatisch	kg 1,4-DB eq	0,0274	0,0136 (-50 %)	0,0173 (-37 %)
Ressourcenbedarf P	kg P	0,0010	0,0004 (-57 %)	0,0005 (-47 %)
Ökotoxizitätspotenzial terrestrisch	kg 1,4-DB eq	0,0014	0,0006 (-60 %)	0,0007 (-53 %)
Ressourcenbedarf K	kg K	0,0023	0,0002 (-90 %)	0,0004 (-84 %)
Abholzung	m ²	0,0027	0,0004 (-96 %)	0,0004 (-96 %)

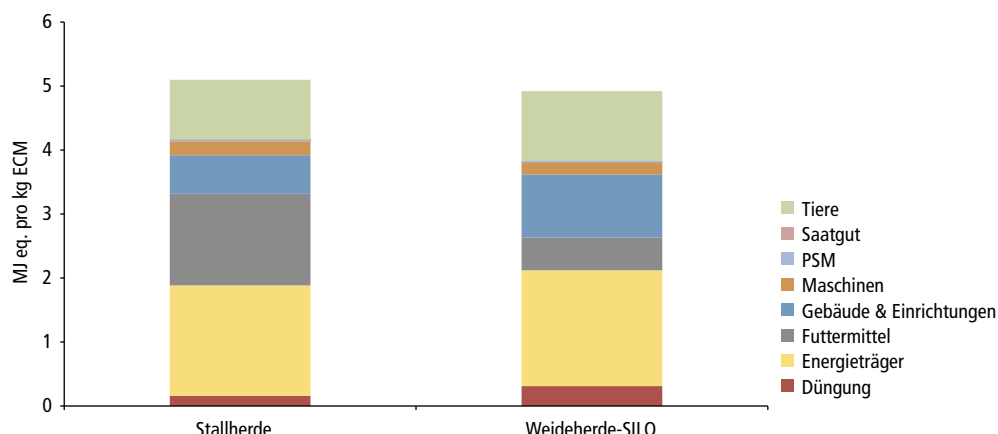


Abb. 1 | Verteilung des Energiebedarfs auf die unterschiedlichen Inputgruppen. Systemvergleich Milchproduktion Hohenrain (2008-2010). ECM = energiekorrigierte Milch.

Resultaten der Ökobilanzen auf den Vergleich der SH mit der Variante WH-SILO.

Energiebedarf ähnlich

Die SH benötigte für die Herstellung von einem kg energiekorrigierter Milch (ECM) etwa gleich viel nicht erneuerbare Energieressourcen wie die WH-SILO. Allerdings unterschieden sich die Beiträge der verschiedenen Inputgruppen wesentlich (Abb. 1). Die SH benötigte bei der Inputgruppe Futtermittel 2,8-mal mehr Energie für die Herstellung von einem Kilogramm ECM als die WH-SILO (1,43 MJ eq. bzw. 0,51 MJ eq. pro kg ECM). Dieser grosse Unterschied ist auf die Verfütterung von Körnermais, Maiskleber und Silomais bei der SH zurückzuführen. Die Produktion dieser drei Futtermittel benötigte pro kg ECM bereits mehr Energie als die Produktion aller Futtermittel der WH-SILO. Weitaus den grössten Energiebe-

darf wies bei der SH die Herstellung von Maiskleber auf, wobei pro kg ECM 0,52 MJ eq. benötigt wurden. Der Energiebedarf für die Erstellung der Gebäude und Einrichtungen (0,98 MJ eq. bzw. 0,60 MJ eq. pro kg ECM) und für die Remontierung (1,09 MJ eq. bzw. 0,93 MJ eq. pro kg ECM) war hingegen bei der WH-SILO höher als bei der SH. Dieser Unterschied kann auf die grössere Tierzahl der WH-SILO zurückgeführt werden.

Methanausstoss als Schwäche der WH-SILO

Der mittels Modellrechnungen ermittelte höhere Methanausstoss der WH-SILO pro kg ECM führte zu den grossen Unterschieden beim Treibhaus- und Ozonbildungspotenzial. Bei der WH-SILO verursachte das Methan 60 % des gesamten Treibhauspotenzials, bei der SH ist die Relevanz des Methans mit 57 % etwas geringer als bei der WH-SILO (Abb. 2) (0,91 kg CO₂ eq. ▶

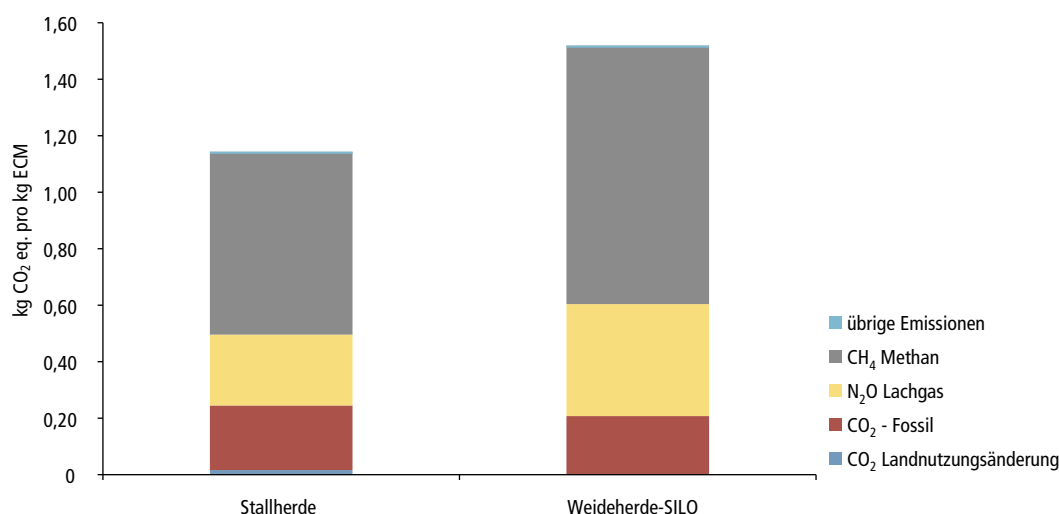


Abb. 2 | Zusammensetzung der Treibhausgase für die beiden Herden. Systemvergleich Milchproduktion Hohenrain (2008-2010). ECM = energiekorrigierte Milch.

bzw. 0,65 kg CO₂ eq. pro kg ECM). Das Methan stammte bei der WH-SILO zu 99 %, bei der SH zu 98 % von den Tieren. Methan entsteht hauptsächlich bei der Verdauung der Wiederkäuer sowie bei der Lagerung der Hofdünger. Die Inputgruppe Tiere ist somit für das Treibhauspotenzial sehr wichtig. Insbesondere weil die Wirkung von Methan auf das Treibhauspotenzial rund 25-mal stärker ist, als jene von CO₂ (Forster *et al.* 2007). Der in der Kategorie Fossil enthaltene, mehr als dreimal höhere Gesamtverbrauch an Diesel der SH, fällt hingegen wenig ins Gewicht.

Grössere Ammoniakemissionen bei der SH

Die WH-SILO verursacht weniger Versauerungspotenzial und terrestrisches Eutrophierungspotenzial als die SH. Der Grund liegt in den höheren Ammoniakemissionen der SH. Das Versauerungspotenzial besteht bei beiden Herden zu 90 % (SH) respektive 89 % (WH-SILO) aus Ammoniakemissionen (0,21 m² bzw. 0,16 m² pro kg ECM). Noch wichtiger sind die Ammoniakemissionen beim terrestrischen Eutrophierungspotenzial. So kann die terrestrische Eutrophierung in beiden Systemen zu 96 % auf die Ammoniakemissionen zurückgeführt werden. Beim System Vollweide waren die Tiere während der Vegetationszeit fast 23 Stunden täglich auf der Weide. Die Hofdüngermenge der Stallherde, die gelagert und ausgebracht werden musste, ist weitaus höher. Die Ausbringung dieser Hofdünger erfolgte vermehrt während der Sommermonate. Dann sind rund 35 % höhere Emissionen zu erwarten als im Winterhalbjahr (Frick *et al.* 1996). Die Kombination von mehr Hofdünger und mehr Ausbringungen im Sommer führt schliesslich zu einem Drittel höheren Ammoniakemissionen der SH verglichen mit der WH-SILO.

Ackerland versus Grasland

Für die Berechnung des Flächenbedarfs wurden nicht nur die LN im In- und Ausland berücksichtigt, sondern auch die Flächen, welche in Form von Wald für die Herstellung von Bauholz benötigt wurden und die Arealflächen auf welchen die Produktionsstätten stehen. Die

WH-SILO benötigte im Systemvergleich Hohenrain 49 % mehr Fläche für die Herstellung von einem kg ECM als die SH, allerdings unter der Voraussetzung, dass beide Herden pro Kuh den gleichen Stallplatz und Gebäudeanteil erfordern (Tab. 3). Die WH-SILO weist einen insgesamt höheren Flächenbedarf auf, dieser besteht aber zu einem Hauptteil aus Grasland. Da dieses nicht zwingend guten Ackerboden voraussetzt, auf dem auch Nahrungsmittel produziert werden könnten, steht die Fütterung der WH weniger in Konkurrenz zur menschlichen Ernährung als jene der SH. Durch die grösseren Mengen an Kraftfutter und das Verfüttern von Silomais in der SH benötigt diese 2,3-mal mehr Ackerland als die WH-SILO.

WH-SILO konnte Potenzial nicht ausschöpfen

Die Umweltwirkungen der WH-SILO haben von Jahr zu Jahr abgenommen, während bei der SH kaum eine Veränderung stattgefunden hat bzw. die Emissionen sogar zugenommen haben (Abb. 3). Der Rückgang bei der WH-SILO lässt sich unter anderem durch die zum Versuchsbeginn neu angesäte Weide erklären. Diese produzierte im ersten Versuchsjahr noch nicht die maximale Biomasse (noch nicht geschlossene Saatreihen bei Kurzrasenweidenutzung). Zudem mussten sich sowohl die Betriebsleiter als auch die Herde an das Vollweide-System gewöhnen. Die WH-SILO scheint somit ihr Potenzial während des Versuches nicht ausgeschöpft zu haben. Ein Indiz hierfür ist das stetige Überschreiten der Ziel-Aufwuchshöhe im Frühjahr. In jedem der drei Versuchsjahre stand der Herde somit mehr Weidefläche zur Verfügung als nötig gewesen wäre. Es bleibt offen, wie sich die WH-SILO weiterentwickelt hätte, ob deren Umweltwirkungen noch weiter abnahmen oder ob im dritten Versuchsjahr das System soweit etabliert ist, dass kein Rückgang mehr stattfindet.

Weideherde mit höherer Biodiversität

Die bewirtschafteten Flächen wiesen bei der WH eine höhere Biodiversitätspunktzahl auf, als jene der SH. So erreichte die SH 5,5 und die WH 6,7 Biodiversitäts-

Tab. 3 | Flächenbedarf für die Produktion von einem kg ECM im Durchschnitt der drei Versuchsjahre. Systemvergleich Milchproduktion Hohenrain (2008–2010). ECM = energiekorrigierte Milch.

	Stallherde m ² pro Jahr und kg ECM	Weideherde-SILO m ² pro Jahr und kg ECM
Ackerland	0,32	0,14
Grasland intensiv	0,50	1,06
Grasland extensiv	0,08	0,10
Wald	0,06	0,09
Übrige Fläche	0,02	0,02

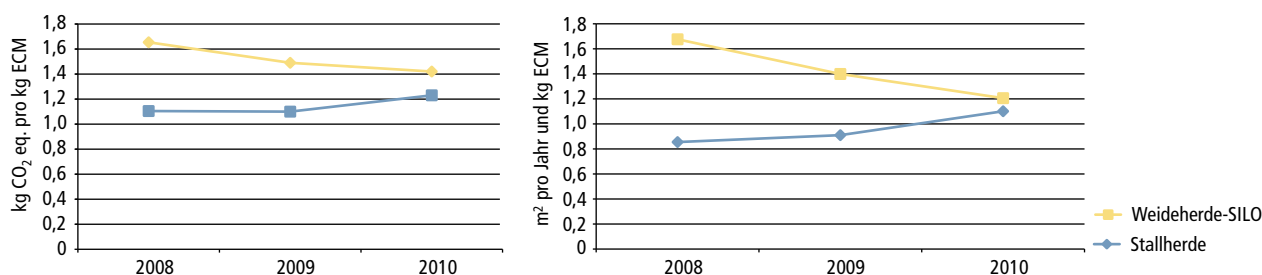


Abb. 3 | Entwicklung der beiden Herden im Laufe der drei Versuchsjahre am Beispiel der beiden Wirkungskategorien Treibhauspotenzial (links) und Flächenbedarf (rechts). ECM = energiekorrigierte Milch.

punkte. Das schlechtere Abschneiden der SH ist im Wesentlichen auf den hohen Maisanteil in der SH-Ration zurückzuführen.

Diskussion

Problematik der Methanemissionen

Der Methanausstoss stellt gemäss den vorliegenden Ergebnissen die grösste Schwäche der WH-SILO dar. Die WH-SILO produzierte pro kg TS 1,08 kg ECM und somit deutlich weniger als die SH mit 1,28 kg ECM pro kg TS, wobei der Energiegehalt der Ration bei der SH bei 6,58 MJ NEL und bei der WH bei 6,07 MJ NEL lag (Hofstetter *et al.* 2011). Dementsprechend nimmt die WH-SILO insgesamt mit 5,62 MJ NEL pro kg ECM gegenüber der SH mit 5,14 MJ NEL pro kg ECM auch mehr Energie auf. Daraus lassen sich gemäss dem Intergovernmental Panel on Climate Change (Eggleston *et al.* 2006) höhere Methanemissionen erwarten. Neuere Untersuchungen stellen jedoch diese Schlussfolgerungen in Frage. So konnten O'Neill *et al.* (2011) in ihrer Studie feststellen, dass die Methanproduktion im System Vollweide im Vergleich zum System Totalmischration (TMR) sowohl pro kg TS als auch pro kg ECM geringer ist. Dabei handelte es sich um gemessene Werte und nicht um Modellberechnungen, wie dies bei den vorliegenden Ökobilanzen der Fall ist. Die Autoren führten die signifikant tiefere Methanproduktion pro kg TS auf das hochverdauliche Weidegras zurück. Dieses führt zu einem tieferen pH im Pansen der Kühe, was zu einer geringeren Verdaulichkeit der Pflanzenfasern innerhalb des Pansens führt und in Folge zu geringeren Energieverlusten in Form von Methan. Eine weitere Erklärung für die tiefere Methanproduktion bei der Verfütterung von Weidegras sehen sie in der höheren Rohprotein-Konzentration von Weidegras. Der Abbau von Protein verursacht, im Gegensatz zum Abbau von Kohlenhydraten im Pansen, deutlich weniger Methan. Buddle *et al.* (2011) stellten in ihrer

Studie die These auf, dass ein hoher Anteil löslicher Zucker im Weidegras zu einer Reduktion der Methanproduktion führt. Bereits 2002 wiesen Robertson und Waghorn (2002) in ihrer Studie darauf hin, dass eine TMR Fütterung im Vergleich zur Weidefütterung nicht zu signifikant tieferen Energieverlusten via Methan führt (in % der Bruttoenergie). So konnte in dieser Studie ein deutlich höherer Energieverlust in Form von Methan bei der Verdauung von Grassilage im Vergleich zu frischem Gras festgestellt werden. Im Lichte der neueren Untersuchungen müssen die Methanemissionen ev. neu beurteilt werden, wobei sich die Ergebnisse zu Gunsten der WH beziehungsweise WH-SILO verschieben könnten.

Problematik von Mais- und Sojaanbau

Mais- und Sojaanbau sind die Hauptquellen von Umweltwirkungen bei der SH. So verursachte der Anbau von Mais, welcher als Silage oder als Körnermais kombiniert mit Soja oder Maiskleber verfüttert wurde, den grössten Anteil des Ökotoxizitätspotenzials (terrestrisch und aquatisch). Die Verfütterung von Sojaschrot verursachte bei der SH zu 99 % und bei der WH-SILO zu 92 % die Resultate der Wirkungskategorie Abholzung. Die Ration der WH-SILO wurde nur im ersten Versuchsjahr mit Sojaschrot ergänzt. Anders war es bei der SH. Diese Ration wurde zu einem deutlich grösseren Anteil als bei der WH-SILO und zudem über alle drei Jahre mit Sojaschrot ergänzt. Als Folge verursachte die Milchproduktion nach dem System SH mehr Abholzung von Wald als dies beim System WH-SILO der Fall war.

Unterschiedlicher Anteil an Ackerfläche

Steht die Produktion von möglichst vielen Nahrungsmitteln im Vordergrund, schneidet die WH-SILO besser ab. Dieses System benötigte für die Produktion von Milch rund 75 % Grasland, welches nicht zwingend in direkter Konkurrenz mit der menschlichen Ernährung steht. Die

Stallherde benötigte zwar rund 40 % weniger Fläche, rund ein Drittel dieser Fläche steht jedoch in direkter Konkurrenz zur Produktion von Nahrungsmitteln für die menschliche Ernährung auf Basis von pflanzlichen Produkten wie Getreide oder Zuckerrüben. Auch das Bundesamt für Landwirtschaft verlangt aktuell von den Landwirtschaftsbetrieben eine besser Nutzung des lokalen Futtervorkommens und eine standortgerechte Produktion (Bundesamt für Landwirtschaft 2011). Eine Herausforderung, welche mit dem System WH-SILO somit besser angegangen werden kann.

Schlussfolgerungen

Beide Systeme haben sowohl Stärken als auch Schwächen. In der Gesamtbetrachtung überwiegen jedoch die Vorteile der WH-SILO: Bezüglich Versauerungspotenzial, terrestrischer Eutrophierung, Ökotoxizität, Ressourcenbedarf P und K, Abholzung sowie Biodiversität ist die WH-SILO im Vorteil. Zudem nützt sie die natürlichen Ressourcen und das regionale Potenzial besser als die SH.

Die Schwächen der WH liegen im höheren Methanausstoß und dem höheren Flächenbedarf. Die Werte beider haben sich im Verlauf der drei Versuchsjahre an die Werte der SH angenähert. Dies deutet darauf hin, dass der Durchschnitt der drei Jahre das Potenzial der WH-SILO unterschätzt. In unserer Ökobilanz könnten zudem die Methanemissionen der WH-SILO, verglichen mit Berechnungen aufgrund neuerer Untersuchungen, überschätzt worden sein. Zudem benötigte die Stallherde deutlich mehr Ackerfläche, auf welcher Nahrungsmittel produziert werden könnten.

Diese Abwägung zeigt, dass die Milchproduktion im Vollweidesystem ein grosses ökologisches Potenzial aufweist und zukunftssträftig ist. ■

Literatur

- Alig M., Grandl F., Mieleitner J., Nemecek T. & Gaillard G., 2012. Ökobilanzierung von Rind-, Schweine- und Geflügelfleisch. Schlussbericht, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Zürich und Ettenhausen, 151 S.
- Bundesamt für Landwirtschaft, 2011. Klimastrategie Landwirtschaft: Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft, Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), 46 S.
- Buddle B.M., Denis M., Attwood G.T., Altermann E., Janssen P.H., Ronimus R.S., Pinarens-Patiño C.S., Muetzel S. & Wedlock D.N., 2011. Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. *The Veterinary Journal* **188** (1), 11–17.
- Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. & Tanabe K., 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- Forster P., Ramaswamy V., Artaxo P., Bernsten T., Betts R., Fahey D.W., Haywood J., Lean J., Lowe D.C., Myhre G., Nganga J., Prinn R., Raga G., Schulz M. & Van Dorland R., 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Frick R., Menzi H. & Katz P., 1996. Ammoniakverlust nach Hofdüngeranwendung. FAT-Berichte, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Nr. 486, 1–10.
- Hersener J.-L., Baumgartner D. U., Dux D., Aeschbacher U., Blaser S., Gaillard G., Glodé M., Jan P., Jenni M., Mieleitner J., Müller G., Nemecek T., Rötheli E. & Schmid D., 2011. Zentrale Auswertung von Ökobilanzen landwirtschaftlicher Betriebe (ZA-ÖB). Schlussbericht, ed. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. Zürich und Ettenhausen, 148 S.
- Hofstetter P., Frey H., Petermann R., Gut W., Herzog L. & Kunz P., 2011. Stallhaltung versus Weidehaltung - Futter, Leistung und Effizienz. *Agrarforschung Schweiz* **2** (9), 402–411.
- Jeanneret P., Baumgartner D.U., Freiermuth Knuchel R. & Gaillard G., 2009. Methode zur Beurteilung der Wirkung landwirtschaftlicher Aktivitäten auf die Biodiversität für Ökobilanzen (SALCA- Biodiversität), Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich/Ettenhausen, 74 S.
- O'Neill B., Deighton M., O'Loughlin B., Mulligan F., Boland T., O'Donovan M. & Lewis E., 2011. Effects of a perennial ryegrass diet or total mixed ration diet offered to spring-calving Holstein-Friesian dairy cows on methane emissions, dry matter intake, and milk production. *Journal of Dairy Science* **94** (4), 1941–1951.
- Robertson L. & Waghorn G., 2002. Dairy industry perspectives on methane emissions and production from cattle fed pasture or total mixed rations in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* **62**, 213–218.

Riassunto**Confronto dell'bilancio ecologico della produzione di latte tra stalla e pascolo**

Protezione del clima, protezione dell'ambiente e l'uso di risorse che scarseggiano sono le parole chiave con cui le aziende svizzere produttrici di latte sono obbligate a confrontarsi maggiormente.

Nell'ambito del progetto «Confronto di sistemi di produzione lattifera Hohenrain», con il metodo d'analisi del ciclo di vita SALCA (Swiss Agricultural Life Cycle Assessment) si è effettuata una valutazione completa degli impatti ambientali della produzione di latte. A questo scopo si sono confrontate le forze e debolezze ecologiche di due sistemi; uno basato sul pascolo, l'altro sull'alimentazione in stalla. La mandria alimentata in stalla in tre categorie di impatto su 13 risulta essere significativamente migliore rispetto alla mandria alimentata al pascolo-SILO. Per contro la mandria alimentata al pascolo-SILO ottiene risultati migliori in sette categorie d'impatto su 13. Una delle principali debolezze di quest'ultima è la maggiore emissione di metano (+ 41 %) e l'elevato bisogno di superficie (x 1,5) per kg di latte corretto per il contenuto energetico (ECM). I punti deboli della mandria alimentata in stalla sono rappresentati dal disboscamento, il consumo di risorse (fosforo e potassio) e l'ecotossicità, dovute principalmente alla sua alimentazione con mais e soja.

Summary**Life cycle assessment of intensive and pasture-based dairy production systems**

Swiss dairy farms must increasingly cope with climate protection, environmental conservation and the use of limited resources.

In the context of the Hohenrain comparison of dairy production systems, a comprehensive assessment of the environmental impacts was conducted using the Swiss Agricultural Life Cycle Assessment method. The environmental strengths and weaknesses of seasonal full-pasture and indoor feeding systems were compared.

The indoor herd performed significantly better than the pasture herd in three of thirteen impact categories. In contrast, the pasture herd performed better in seven of thirteen impact categories. A considerable weakness in the pasture herd was its higher methane emissions per kilogram of energy-corrected milk and the one-and-a-half times greater land requirement per kilogram of energy-corrected milk. The indoor herd had its main weaknesses in deforestation, the phosphorous and potassium resource requirements and higher ecotoxicity. The main causes for poor performance in these categories were maize and soybean meal.

Key words: life cycle assessment, LCA, milk production systems, pasture, total mixed ration, enteric methane.